

시설물 유형에 따른 화재 발생의 공간 계량 분석

Spatial Econometrics Analysis of Fire Occurrence According to Type of Facilities

서민송¹⁾ · 유환희²⁾

Seo, Min Song · Yoo, Hwan Hee

Abstract

In recent years, fast growing cities in Korea are showing signs of being vulnerable to more disasters as their population and facilities increase and intensify. In particular, fire is one of the most common disasters in Korea's cities, along with traffic accidents. Therefore, in this study, we analyze what type of factors affect the fire that threatens urban people. Fire data were acquired for 10 years, from 2007 to 2017, in Jinju, Korea. Spatial distribution pattern of fire occurrence in Jinju was assessed through the spatial autocorrelation analysis. First, spatial autocorrelation analysis was carried out to grasp the spatial distribution pattern of fire occurrence in Jinju city. In addition, correlation and multiple regression analysis were used to confirm spatial dependency and abnormality among factors. Based on this, OLS (Ordinary Least Square) regression analysis was performed using space weighting considering fire location and spatial location of each facility. As a result, First, LISA (Local Indicator of Spatial Association) analysis of the occurrence of fire in Jinju shows that the most central commercial area are fire department, industrial area, and residential area. Second, the OLS regression model was analyzed by applying spatial weighting, focusing on the most derived factors of multiple regression analysis, by integrating population and social variables and physical variables. As a result, the second kind of neighborhood living facility showed the highest correlation with the fire occurrence, followed by the following in the order of single house, sales facility, first type of neighborhood living facility, and number of households. The results of this study are expected to be useful for analyzing the fire occurrence factors of each facility in urban areas and establishing fire safety measures.

Keywords : Fire, Facilities, Spatial Autocorrelation Analysis, Multiple Regression Analysis, OLS Regression Analysis

초 록

최근 급속도로 성장하는 도시에는 많은 인구와 시설물들이 증가하고 집중이 심화함에 따라 재해와 재난에 취약함을 나타낸다. 특히, 화재는 우리나라의 도시 내에서 교통사고와 더불어 가장 많이 발생하는 재해 중 하나로 많은 인명 및 재산피해를 준다. 따라서 본 연구에서는 화재 발생에 대한 영향요인을 분석하기 위해 진주시를 대상으로 2007년부터 2017년까지 10년간 화재데이터를 취득하였다. 먼저 공간 자기 상관성 분석을 시행하여 진주시 화재 발생의 공간 분포 패턴을 파악한 후, 상관관계 및 다중 회귀 분석을 통해 인문·사회 요인과 물리적 요인 간의 공간적 종속성 및 비정상성을 확인하였고 이를 토대로 화재 발생 위치와 각 요인별 위치를 고려하여 공간 가중치를 활용한 OLS 회귀 분석을 실시하였다. 그 결과로 첫째, 진주시 화재 발생의 LISA 분석 결과 화재 발생 빈도가 높은 용도지역은 중심상업지역, 공업지역, 주거지역 순으로 나타났다. 둘째, 인구·사회적 변수 및 물리적 변수를 통합하여 다중회귀분석의 최종 모형으로 도출된 요인들을 중심으로 공간가중치를 적용하여 OLS 회귀모형을 분석한 결과 제2종 근린생활시설이 화재 발생과 가장 높은 상관성을 보였으며 다음으로 단독주택, 판매시설, 제1종 근린생활시설, 가구수의 순으로 상관성이 있는 것으로 분석되었다. 이러한 연구 결과를 통해 도시 지역의 시설물별 화재 발생 요인을 분석하고 화재 안전대책을 수립하는데 유용한 자료로 활용될 것으로 예상된다.

핵심어 : 화재, 시설물, 공간 자기 상관성 분석, 다중 회귀 분석, OLS 회귀 분석

Received 2019. 5. 24, Revised 2019. 06. 14, Accepted 2019. 06. 27

1) Member, BK21+, Dept. of Urban Engineering, Gyeongsang National University (E-mail: msong7938@gmail.com)

2) Corresponding Author, Member, BK21+, ERI, Dept. of Urban Engineering, Gyeongsang National University (E-mail: hhyoo@gnu.ac.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 연구배경 및 목적

최근 급속도로 성장하는 도시에는 많은 인구와 시설물들이 증가하고 집중이 심화함에 따라 다양한 도시문제를 일으키며 특히 다양한 재해와 재난에 취약함을 나타내고 있다. 많은 재난 중 흔하게 접하게 되는 재난은 화재이며 사회재난에 속한다. 화재의 주된 원인은 사람들의 방심과 부주의 때문에 발생되며, 기온이 낮고 불의 사용도가 높은 겨울철에 많은 화재가 발생하고 있다. 화재는 우리나라의 도시 내에서 교통사고와 더불어 가장 많이 발생하는 재해 중 하나로 장소와 시간을 막론하고 다양한 도시시설과 시민들에게 피해를 주고 있다(Bae, 2016). 최근 2017년 충북 제천 스포츠센터 화재 참사(36명 부상 및 29명 사망)와 2018년 경남 세종병원 화재 참사(109명 부상 및 46명 사망) 등 대형화재가 지속해서 발생하고 있으며 각종 사회적 불안감을 주고 있는 실정이다. 현재 우리나라는 화재에 관한 다양한 관점의 연구가 활발히 진행되고 있으며 최근 들어 화재 발생에 따른 화재위험 지도 구축과 BIM (Building Information Modeling)정보를 활용한 화재 대피 시뮬레이션 그리고 공간 정보 시스템을 활용한 공간 분석과 통계 기법을 활용한 분석 등에 관한 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 그중 본 연구와 관련된 선행연구들을 살펴보면 GIS (Geographic Information System)를 활용한 공간특성분석에 관한 연구의 경우 Kang and Park (2005)는“서울시 화재위험 지도 구축방안에 관한 연구”에서 서울 종로구 청산동을 대상으로 1995년부터 2004년까지 발생한 화재 발생 건수로 밀도 지도를 작성하고 화재 발생 분포 경향을 분석을 위해 13개의 영향요인을 구축하였으며, 화재발생분포의 경향을 분석하고 이에 대한 화재위험 지도를 시범 구축하였다. Kim (2009)는“GIS를 이용한 화재 발생의 공간특성연구”에서 대전광역시를 대상으로 화재 발생의 시계열 변화와 화재의 공간특성 분석을 근간으로 하여, 화재발생지점 분석과 화재 발생 출동시간인 6분 지점을 분석을 통해 119안전센터의 이동을 제안하였으나, 화재 발생 지역에 관한 화재 다발 지점의 군집분석에 대한 제시를 숙제로 남겨 놓고 있다. 또한, Lee (2010)은“GIS를 이용한 소방 활동 발생의 공간적 분포와 출동체계 분석”에서 울산광역시를 대상으로 구급 발생과 관련된 분포패턴 분석과 화재 발생 분포패턴을 이원화하였으며 GIS 분석을 통해 울산시 소방서의 화재와 구급 및 구조 3가지 요소에 대해 공간적 분포를 밝혔으나, 결과를 통한 대안 마련이 부족하다. 공간통계 기법을 활용한 기존 연구의 경우 Kim *et al.* (2007)은“GIS 공간통계를 이용한 도심 화재 예측지도 제작기법 탐색”에서 대구광역시를 대상으로 인문과 환경 요소의 상관관계를 분석하

였으며 화재 발생에 대한 불특정성을 포아송 확률분포로 해석했다. 이를 바탕으로 화재위험예측지도를 시범 제작하였다. Kim *et al.* (2011)은“우리나라 산불 발생의 지역별 공간 자기 상관성에 관한 연구”에서 전국 9개 도를 대상으로 산불의 발생 위치 Data를 사용해서 공간 통계적 분석을 실시하였다. 공간분포의 베리오그램(Variogram)을 통해 도출된 공간자기상관성을 가지고 Kriging 기법을 활용하여 산불 발생위험 예측을 통해 각 권역별로 공간 자기 상관성 유무에 대해 분석하였다. Shin *et al.* (2012)은“통계자료를 활용한 건축물 용도별 화재 위험도 분석”에서 건축법 기준에 따라 용도를 분류하고 이를 통해 화재위험도 범위를 구축하여 절대평가와 리스크 매트릭스를 활용한 상대평가를 동시에 실시하여 Society of Fire Protection Engineers를 기준으로 화재 발생에 따른 위험 건축물 용도에 대해 정책적 활용방안을 제시하였다. Kim (2014)는“토지이용에 따른 산불 발생의 영향 분석”에서 충청북도를 대상으로 산불의 공간적 분포특성과 공간 자기 상관성 분석을 통하여 산불의 공간적 분포패턴을 분석하고, 토지이용속성과 산불 발생 간의 관계를 도출하였으나, 산불의 예방과 정책수립을 구체적으로 밝히고 있지 못하고 있다. 대부분의 선행연구 경우 화재 발생 지점에 대한 공간 자기 상관성 분석과 화재 발생에 따른 위험도 제작이 주로 이뤄져 왔으며 도시 공간 안의 화재빈도와 시설물 요인의 상관성 분석에 관하여 공간적 요소가 고려된 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 도시민들에게 위협이 되는 화재 발생이 공간적으로 어떤 요인들과 영향을 미치는지 분석하고자 한다. 화재 발생에 대한 영향요인 분석을 위해 진주시를 대상으로 2007년부터 2017년까지 10년간 화재데이터를 취득하여 공간 자기 상관성 분석을 실시하여 진주시 화재 발생의 공간 분포 패턴을 파악한 후, 상관관계 및 다중 회귀 분석을 통해 인문·사회 요인과 물리적 요인 간의 공간적 종속성 및 비정상성을 확인하였다. 이를 토대로 화재 발생 위치와 각 요인별 위치를 고려하여 공간가중치를 활용한 OLS 회귀 분석을 실시함으로써 화재 발생과 시설물과의 상관성을 분석하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 화재 발생 공간 자기 상관성 측정

2.1.1 Moran's I

본 연구에서는 진주시 화재 발생을 국지적 차원의 공간 자기 상관성을 측정하기 위해 국지적 Moran 지수를 이용하여 제시한 LISA (Local Indicator of Spatial Association) 지표 를 사용하여 분석하였으며 수식으로 표현하면 Eq. (1)과 같다.

$$I_i = \left[\frac{n^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \right] \frac{(X_i - \bar{X}) \sum_{j=1}^n w_{ij} (X_j - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (1)$$

Where n is Number of unit areas, x_i is Observations in unit area i , \bar{x} is Average of all unit areas, w_{ij} is spatial weight, X_i is i area Properties, X_j is j area Properties

국지적 Moran 지수의 경우 특정 지역 값과 인접하고 있는 주변 지역들이 갖는 가중 평균값이 서로 유사하게 나타나면 양적인 자기 상관으로, 반대로 특정 지역의 값과 인접하고 있는 주변 지역들이 갖는 가중 평균값의 차이가 크게 분석되면 음적인 자기 상관으로 판정하게 된다. 따라서 국지적 LISA 분석을 통해 각 개별지역의 주변에 유사한 값을 갖는 공간적 군집에 대한 유의성을 판정할 수 있다. 또한, 국지적 군집과 이레 지역에 대한 정보도 추출할 수 있다.

결과 값은 -1에서부터 1까지의 값을 갖는다. -1에 가까울수록 큰 값과 작은 값이 규칙적으로 섞이는 공간분포를 보이며, 1에 가까울수록 큰 값들이 군집해 있는 공간분포를 나타낸다 (Lee and No, 2013).

2.2 공간 계량 모델

2.2.1 공간 가중치 행렬

공간 데이터가 가지고 있는 특징은 공간적 자기 상관성이며, 인접해 있을수록 유사한 특성을 지니게 되고 상관성이 높아진다. 공간에 자기 상관성을 측정하고자 하는 경우 중요한 문제는 공간적 인접성(Spatial neighborhood)을 정의하고 측정하는 것이다. 공간적 자기 상관성이 존재하는 경우 공간 가중 행렬을 이용하여 공간효과를 통제하여야 한다(Yeon, 2016). 공간 가중 행렬을 구축하는 경우 크게 두 가지로 나뉘게 된다. 공간 인접성(spatial contiguity)을 기준으로 구축하는 방법 그리고 공간 거리(spatial distance)를 기준으로 하는 방법이다. 인접성 기반의 가중치란, 공간적 인접성을 고려하여 인접한 경우 1, 이격된 경우 0을 부여하는 것을 의미한다. 거리기반 가중치는 연속성(contiguity)을 6가지로 구분할 수 있으며 실제 거리를 기반으로 다양한 응용이 가능하다(James *et al*, 2008). 이는 또한 두 지역 간의 접근성(accessibility)에 대한 척도로 해석할 수 있으며, 공간적 상호작용(spatial interaction)의 크기가 적용될 수도 있다. 가까운 곳일수록 큰 가중치를 가져야 하므로, 거리의 역수가 가장 많이 사용된다(Baller *et al*, 2001).

2.2.2 선형회귀모델

회귀 분석이란 설명변수(X_i)가 종속변수(Y)에 어떠한 영향을 미치는가를 분석하는 통계 방법으로, 회귀 분석을 수행하는 목적은 종속변수와 설명변수들 사이의 관계를 가장 잘 설명하는 회귀 식을 추정한 후, 그 추정된 회귀식으로부터 X_i 값의 변화에 따라 대응하는 Y_i 값을 예측하는데 궁극적인 목적을 두고 있다. 선형회귀모델은 설명변수와 종속변수 관계가 직선적으로 나타나는 것을 가정하고 있다. 따라서 우선적으로 두 변수 간의 관계가 직선적인가를 조사하기 위해 산포도를 구축하여 살펴보아야만 한다. 산포도란 두 변수의 쌍을 좌표 상에 표시한 것으로 설명변수는 X 축에 종속변수는 Y 축에 하나의 좌표로 나타낸 분포도이다. 이렇게 주어진 데이터를 시각적으로 보기 쉽게 그래프화하면 두 변수 간의 관계를 잘 알 수 있다. 회귀 분석은 종속변수와 각 설명변수들과 관계를 결정짓는 가장 적합한 회귀식을 찾는 것이다. 이들 변수 간의 관계를 나타내는데 가장 적합하다고 생각되는 회귀식은 여러개 있을 수 있으므로, 여러 회귀선들 가운데서 종속변수와 설명변수 간의 관계를 가장 잘 설명해줄 수 있는 회귀식을 구해야 한다. 회귀 분석이란 바로 최적 선을 추정하기 위해 통계 방법을 활용하는 것이다. 가장 좋은 회귀선이란 어떤 회귀선이 주어졌을 때 이로부터 추정된 예측치 \hat{Y}_i 와 실측치 Y_i 와의 차이인 잔차를 가장 작게 해주는 회귀선을 구하는 것이다. 잔차란 회귀선상의 예측치와 실측치 간의 수직거리로써 예측치 \hat{Y}_i 가 실측치 Y_i 보다 클 경우 잔차는 (-)가 되며, 반대로 예측치 \hat{Y}_i 가 실측치 Y_i 보다 작을 경우 잔차는 (+)가 된다. 이처럼 가장 적합한 회귀선이란 잔차의 합을 가장 작게 해주는 직선이다. 그러나 (+)잔차와 (-)잔차가 서로 상반되어 나타나는 경우 서로 상쇄되므로 일반적으로 잔차 제곱의 합을 최소화 하는 식을 구하게 된다. 선형 회귀 분석을 최소제곱법(OLS: ordinary least square method)이라고 부르는 이유는 최적선을 구하는 기준이 잔차 제곱의 합을 최소화하는 직선을 구하기 때문이다. 이를 식으로 나타내면 Eq. (2)와 같다(Lee and No, 2013).

$$\min \sum e_i^2 = \min \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (2)$$

그러나 모집단 X 와 모집단 Y 와의 관계를 추정하기 위해 표본으로부터 추정한 회귀계수 a , b 가 모집단의 모수인 α, β 를 정확하게 추론하기 위해서는 추정된 회귀모델이 회귀 분석에서 전체가 되는 기본 가정들을 충족시켜야만 한다. 만일 산출된 회귀모델에 대한 적합도만을 검증하고 기본 가정을 충족하고 있는가를 조사하지 않은 채 가장 적합한 회귀모델로 판단하여 예측할 경우 오류를 범할 가능성이 상당히 크다. 따라서

회귀분석방법을 이용할 경우 추정된 회귀모델이 기본 가정을 잘 준수하고 있는지를 먼저 판정하고 난 후 가장 적합한 회귀 모델을 설정하여야 한다(Jeo, 2017).

3. 자료 수집 및 결과 분석

3.1 자료 구축 및 구성

진주시의 화재 발생 영향요인 분석을 위한 자료 구성과 구축 방법은 다음과 같다.

첫째, 2007년부터 2017년까지 10년간 진주시의 관할 소방서의 협조를 통해 정리한 화재 발생 현황자료(주소, 시간, 인명·재산피해액 등)를 토대로 경·위도 좌표에 포인트로 표시하여 지오코딩(Geocoding) 작업을 실시하였다. 주소가 불명확한 자료나 기재 누락 등을 제외하였으며 진주시 행정구역 중 면단위에서 발생한 화재는 대부분 산불 화재이므로 면 단위를 제외한 동 단위의 화재 발생 1,786건을 최종 자료로 활용하였다.

진주시의 화재 발생 현황을 포인트 데이터로 나타내면 아래 Fig. 1과 같다.



Fig. 1. Fire situation of Jinju city(2007-2017)

둘째, 동 단위 대신 더욱 세분화된 집계구 단위로 분석하기 위해 법정동, 행정동의 자료를 집계구 중심의 자료로 최종적으로 재통합하는 과정을 거쳤다. 진주시의 집계구는 총 536개이며 동별 집계구 개수는 Table 1과 같다.

Table 1. Number of Each Census Output Area

Name of administrative-dong	Number of Each Census Output Area
Ga ho-dong	49
Sang dael-dong	27
Sang dae2-dong	22
Sang bong-dong	36
Sangpyeongdong	28
Sung buk-dong	24
Shin an-dong	27
Lee hyun-dong	27
Jung ang-dong	27
Cheon jeon-dong	66
Cho jang-dong	45
Pan mun-dong	48
Pyeong gu-dong	57
Ha dael-dong	29
Ha dae2-dong	24

셋째, 진주시 화재 발생과 영향요인을 분석하기 위해 본 연구에서는 크게 두 가지의 요인으로 나누어 분석하였다. 첫 번째는 인문·사회 요인으로 인구와 가구 및 세대구성 가구의 집계구별 데이터를 사용하였으며 통계청 SGIS (Statistical Geographic Information Service)을 통해 취득하였다. 두 번째는 물리적 요인으로 시설물 데이터를 사용하였으며 시설물 현황자료는 국가 공간 정보 포털에서 취득하였다. 본 연구에서 사용된 진주시 시설물 용도는 건축법에 따른 시설물 용도이며 취득한 데이터의 용도별 시설물 표준코드를 통해 건축법상 시설군으로 변환하여 분석 자료를 구축하였으며 진주시 각 시설물 개수와 자료에 대한 세부 사항은 Table 2와 같다.

넷째, 통계 분석 및 공간계량분석을 통한 영향요인을 분석하기 위해 인문·사회 변수로 인구와 가구 및 세대구성 가구의 집계구별 데이터를 사용하였으며 각 변수에 대한 설명은 Table 3과 같다. 물리적 변수로 각 시설물에 대한 집계구 면적 대비 시설물 면적을 활용하였으며 각 변수에 대한 설명은 Table 4와 같다.

Table 2. Number of facilities in Jinju city

Type of facilities	Usage	Number
Apartment house	Apartment, town house, multi-family house, dormitory	1638
Detached house	Single-family houses, multi-family houses, multi-family houses	27241
Factory	Factory	2528
Sightseeing rest facilities	Outdoor music hall, outdoor theater, rest area, park, etc	29
Business facilities	Public office facilities, general business facilities, office buildings, etc	1688
Sales facilities (multiple living facilities)	Multiple use facility	275
The first type neighborhood facilities	Retail stores, rest restaurants, beauty salons, bathe, clinics, table tennis courts, local autonomous centers, town halls, offices, etc.	1963
The second type neighborhood facilities	Performance hall, religious hall, bookstore, photo shop, rest restaurant, general restaurant, reading room, etc.	4007
Sales facilities	Wholesale Markets, Retail Markets, Stores	3761
Accommodation facilities	General accommodation, living accommodation, etc	328
Educational research facilities	Schools, training centers, job training centers, etc.	1479
child and elderly facilities	Facilities related to children, welfare facilities for the elderly, etc	193
Facilities for animals and plants	Houses, cattle facilities, slaughterhouses, etc	165
Training facilities	Living life training facilities, natural rights training facilities, etc	5
Exercise facilities	Table tennis, physical education, tennis court, etc	37
Culture and assembly facilities	Performance hall, meeting place, exhibition hall, exhibition hall, etc	95
Transportation facilities	Railway facilities, port facilities, passenger car terminal	60
Amusement facilities	Dansan liquor shop, night life liquor shop, etc.	358
Cemetery related facilities	Cosmetic facilities	8
Dangerous storage and processing facilities	Gas station, liquefied petroleum gas station, etc	308
Medical Facilities	Hospital, quarantine hospital	89
Automobile related facilities	Parking lot, car wash, junkyard, driving school etc	567
Resource circulation facilities	Sewage treatment facilities, stoneware, etc	130
Funeral facilities	Funeral hall etc	5
Warehouse facilities	Warehouses, loading docks, home delivery facilities, etc	563

Table 3. Human and social variables

Division		Variable		Variable name	Details
Dependent variable		Number of fire		Fire_count	Number of fire occurrence
Independent variable	Human and social variables	Population	Number of people (persons)	to_in_001	Number of population
		House	Households	to_ga_001	Number of households
		Furniture by household composition	One generational household	ga_sd_001	Number of one generational household
			Two generational household	ga_sd_002	Number of two generational household
			Three generational household	ga_sd_003	Number of three generational household
			Four generational household	ga_sd_004	Number of four generational household
			One person household	ga_sd_005	Number of One person household
			Non-family household	ga_sd_006	Number of Non-family household

3.2 진주시 화재 발생의 공간 자기 상관성 분석

본 연구에서는 진주시 화재 발생의 공간분포패턴을 파악하기 위해 GeoDa프로그램을 통해 공간 가중 행렬을 구축하였으며 공간 가중 행렬을 이용하여 종속변수(화재 발생 건수)의 공간적 자기 상관성을 측정하였다. 먼저 진주시의 2007년부터 2017년까지의 화재 발생에 대해 전반적인 공간 분포 패턴을 분석하기 위해 전역적 자기 상관성을 분석한 결과 Fig. 2와 같다. 그래프의 Y축은 공간 가중 행렬로 계산된 인접 지역들의 영향력이고 X축은 해당 지역의 종속변수이며, 종속변수와 공간 시차 변수 간에 양(+)의 관계가 나타나고 있음을 알 수 있으며 Moran 지수 값은 0.151(-1~+1)로 공간적 자기 상관성이 존재하고 있는 것으로 나타났다. 지난 10년간 진주시 화재는 인접한 지역에서 서로 유사한 값을 나타내며, 화재가 많이 발생한 곳에 더욱 화재가 많이 발생하며 공간적 군집을 이루는 것을 확인할 수 있다.

전역적 자기 상관성은 대상지 전체의 자기 상관성을 보여주기 때문에 보다 국지적으로 어떤 지역들이 서로 유사한 값들을 가지며 클러스터하고 있는지 분석하기 위해 국지적 자기 상관성 LISA 분석을 실시하였으며 그 결과 Fig. 3과 같다. 진주시의 경우 각각 HH지역은 33곳이며 LH지역은 22곳, HL지역은 3곳, LL지역은 14개로 나타났다. HH지역 33곳 중 중심 상업지역이 48% 차지하고 있으며 공업지역이 27%, 주거지역 18%로 나타났다. LH지역은 22곳 중 주거지역 52%, 공업지역 26%, 상업지역 13%로 각각 나타났다, HL지역은 3곳이며 세 곳 모두 주거지역으로 나타났다. LL지역은 14곳으로 주거지역 42%, 상업지역 28%로 각각 분석되었다. HH 지역은 고 피해 지역으로 중심상업지역인 성북동과 중앙동 공업지역인 상평동과 하대 2동 주거지역인 가호동과 초장동으로 나타났다. HH에 해당하는 지역들은 주변지역을 포함한 화재 예방 대책 수립이 필요하다. 또한, LH 지역은 진주시청이 위치하고 있는 상대1동과 공업지역인 상평동 일부 주거지역인 초장동 일부로 나타났다. LH에 해당하는 지역들은 화재 발생은 낮지만 주변 지역 화재 발생에 따른 영향을 받지 않을 대책을 수립이 필요한 것으로 보인다.

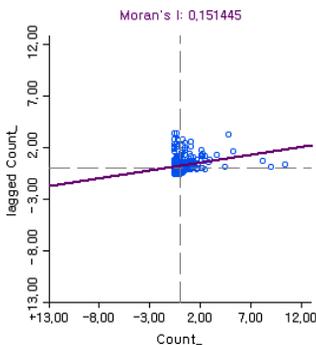


Fig. 2. Global Moran's I Index

Table 4. Physical variables

Division	Variable	Variable name	Details
Dependent variable	Number of fire	Fire_count	Number of fire occurrence
Independent variable	Facility variable	Apartment house	$(\text{Area of each variable} / \text{area}) * 100$
		Detached house	$(\text{Area of each variable} / \text{area}) * 100$
		Factory	$(\text{Area of each variable} / \text{area}) * 100$
		Sightseeing rest facility	$(\text{Area of each variable} / \text{area}) * 100$
		Business facility	$(\text{Area of each variable} / \text{area}) * 100$
		Sales facility (multiple living facilities)	$(\text{Area of each variable} / \text{area}) * 100$
		The first type neighborhood facility	$(\text{Area of each variable} / \text{area}) * 100$
		The second type neighborhood facility	$(\text{Area of each variable} / \text{area}) * 100$
		Sales facility	$(\text{Area of each variable} / \text{area}) * 100$
		Accommodation facility	$(\text{Area of each variable} / \text{area}) * 100$
		Educational research facility	$(\text{Area of each variable} / \text{area}) * 100$
		child and elderly facility	$(\text{Area of each variable} / \text{area}) * 100$
		Facilities for animals and plants	$(\text{Area of each variable} / \text{area}) * 100$
		Training facility	$(\text{Area of each variable} / \text{area}) * 100$
		Exercise facility	$(\text{Area of each variable} / \text{area}) * 100$
		Culture and assembly facilities	$(\text{Area of each variable} / \text{area}) * 100$
		Transportation facility	$(\text{Area of each variable} / \text{area}) * 100$
		Amusement facility	$(\text{Area of each variable} / \text{area}) * 100$
		Cemetery related facilities	$(\text{Area of each variable} / \text{area}) * 100$
		Dangerous storage and processing facility	$(\text{Area of each variable} / \text{area}) * 100$
		Medical Facilities	$(\text{Area of each variable} / \text{area}) * 100$
		Automobile related facilities	$(\text{Area of each variable} / \text{area}) * 100$
Resource circulation facility	$(\text{Area of each variable} / \text{area}) * 100$		
Funeral facility	$(\text{Area of each variable} / \text{area}) * 100$		
Warehouse facility	$(\text{Area of each variable} / \text{area}) * 100$		

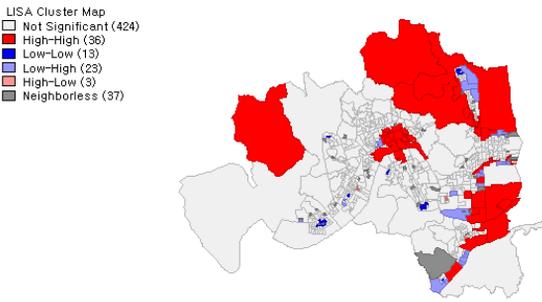


Fig. 3. Jinju city LISA analysis index

3.3 화재 발생 영향요인 다중회귀분석

앞서 공간 자기 상관분석을 통해 고 위험지역인 HH클러스터가 많은 지역을 포함하고 있으므로 화재 발생에 대한 더욱 정확한 요인 분석이 필요하다. 따라서, 먼 공간 안에 포함된 요소들을 정량화시킨 속성값들에 대한 영향요인을 분석해 보고

자 한다. 우선 통계자료의 범위를 진주시 집계구 단위로 정하였다. 분석변수로는 인구·사회 요인과 물리적 요인을 사용하였다. 각 요인 중 중요한 변인들을 찾아내기 위해서 우선적으로 다중공선성의 문제를 해결하여야 하므로, 상관분석과 반복적인 회귀분석과정을 통해 다중공선성 문제를 유발시키는 변인들을 하나씩 제거하였다.

먼저 집계구 데이터의 적용을 통해 화재 발생과 속성자료와의 상관관계를 파악하였다.

Table. 5 and 6은 집계구 데이터의 상관관계 분석 결과이다. 먼저 화재 발생과 인문·사회요인의 각 변수를 분석한 결과 가구 수(.657) > 1세대 가구(.638) > 1인 가구(.621) 등으로 나타났다. 반면 4세대 가구와 비현연 가구는 유의확률이 유효하지 않은 것으로 나타났다. 또한, 화재 발생과 물리적 요인의 각 변수를 분석한 결과 판매시설(.666) > 제2종 근린생활시설(.570) > 제1종 근린생활시설(.513) 등으로 나타났다. 반면 운동시설과 자원순환 관련 시설, 수련시설, 묘지 관련 시설은 유의확률이 유효하지 않은 것으로 나타났다.

Table 5. Correlation coefficient between fire occurrence and human and social variables

	Fire_Count	to_in_001	to_ga_001	ga_sd_001	ga_sd_002	ga_sd_003	ga_sd_004	ga_sd_005	ga_sd_006
Fire_Count	1	.160**	.657**	.638***	.138**	.156**	.041	.621**	.011
to_in_001	.160**	1	.216**	.236**	.256**	.253**	.021	.354**	.003
to_ga_001	.657**	.216**	1	-.453**	.216**	.423**	.102**	.156**	.243*
ga_sd_001	.638**	.236**	-.453**	1	.212**	.235**	.013	.221**	.235**
ga_sd_002	.138**	.256**	.216**	.212**	1	.158**	.134**	.654**	.013
ga_sd_003	.156**	.253**	.423**	.235**	.158**	1	.130**	.021	.123**
ga_sd_004	.041	.021	.102**	.013	.134**	.130**	1	.131**	.148**
ga_sd_005	.621**	.354**	.156**	.221**	.654**	.021	.131**	1	.127**
ga_sd_006	.011	.003	.243*	.235**	.013	.123**	.148**	.127**	1

**p < 0.01, *p < 0.05

Table 6. Correlation coefficient between fire occurrence and Physical variables

	Fire_Count	_apt_house	_factory	_tour	_edu	_child_old	_det_house	_ani	_cem	_cul	_train	_acc	_task
Fire_Count	1	-.247**	.474**	.215**	.272**	.255**	.382**	.421**	.035	.266**	.073	.258**	.132**
edu_fac	.272**	-.148**	.002	.018	1	.050	.045	.320**	.004	.181**	-.006	-.018	.121**
child_old_fac	.255**	-.103*	.109*	.021	.050	1	.279**	.126**	.356**	.115**	-.012	.064	.218**
det_house	.382**	-.497**	.027	.199**	.045	.279**	1	.250**	.093*	.128**	.029	.094*	.315**
ani_fac	.421**	-.119**	-.001	.056	.320**	.126**	.250**	1	.065	.467**	.003	-.001	.298**
cem_fac	.035	-.045	-.005	.013	.004	.356**	.093*	.065	1	.043	-.003	.020	.119**
cul_fac	.266**	-.081	-.006	.276**	.181**	.115**	.128**	.467**	.043	1	.400**	.182**	.222**
trans_fac	.073	-.051	-.005	.659**	-.006	-.012	.029	.003	-.003	.400**	1	.327**	.104*
stay_fac	.258**	-.128**	.110*	.217**	-.018	.064	.094*	-.001	.020	.182**	.327**	1	.283**
apt_house	-.247**	1	-.010	-.093*	-.148**	-.103*	-.497**	-.119**	-.045	-.081	-.051	-.128**	-.269**
factory	.474**	-.010	1	-.007	.002	.109*	.027	-.001	-.005	-.006	-.005	.110*	.395**
tour_fac	.215**	-.093*	-.007	1	.018	.021	.199**	.056	.013	.276**	.659**	.217**	.116**
business_fac	.132**	-.269**	.395**	.116**	.121**	.218**	.315**	.298**	.119**	.222**	.104*	.283**	1
life_fac	.375**	-.173**	.073	.004	.021	.105*	.103*	-.024	.078	.036	.024	.539**	.377**
spots_fac	.013	.064	-.004	-.004	-.008	-.010	.011	.001	-.003	.175**	-.002	.016	-.007
_for	.446**	-.053	.042	.362**	.037	.009	.247**	.105*	-.004	.014	-.003	.056	.147**
fun_fac	.282**	-.237**	-.017	.008	.042	.067	.098*	-.008	.010	.041	.019	.484**	.197**
dan_fac	.457**	-.075	.181**	.086*	.104*	.160**	.310**	.344**	.257**	.136**	-.011	.183**	.362**
medical_fac	.206**	-.077	.044	-.004	.165**	.020	.059	.302**	-.006	.194**	-.005	.083	.139**
car_fac	.481**	-.053	.733**	.015	.032	.140**	.094*	.098*	.048	.040	.018	.306**	.502**
res_fac	.043	-.029	.705**	-.008	.099*	.162**	.151**	.308**	-.007	.170**	-.006	.044	.504**
fun_fac	.369**	-.060	-.002	-.005	.301**	.086*	.067	.715**	.444**	.485**	-.003	-.014	.267**
neig1_fac	.513**	-.318**	.067	.043	.096*	.122**	.286**	.144**	.083	.138**	.073	.370**	.476**
neig2_fac	.570**	-.364**	.173**	.100*	.125**	.335**	.367**	.180**	.183**	.244**	.085*	.411**	.573**
stor_fac	.465**	-.098*	.533**	.112**	.186**	.253**	.354**	.592**	.178**	.313**	-.004	.123**	.448**
sale_fac	.666**	-.247**	.405**	.051	.159**	.102*	.179**	.356**	.028	.313**	.075	.355**	.597**

**p < 0.01, *p < 0.05

Table 7. Human·Social·Physical variable regression analysis model summary

Model	R	R squared	Modified R squared	Durbin-Watson	Probability of significance
1	.665a	.435	.432		.001a
2	.721b	.536	.535		.001b
3	.785c	.617	.615		.000c
4	.852d	.742	.740		.000d
5	.863e	.763	.762		.000e
6	.882f	.779	.776		.000f
7	.925g	.856	.855	2.062	.000g

상관관계 분석 결과 많은 변인들의 상관성이 매우 유효한 것으로 나타나 다중 공선성이 발생할 소지가 있는 것으로 분석되었다. 따라서, 다중 공선성 문제를 해결하기 위해 화재 발생과 각 변인들의 상관분석에서 상관성이 낮거나 유효하지 않은 변인들을 제외하였다. 또한, 반복적인 분석을 통해 다중 공선성 문제를 유발시키는 변인들을 제외한 후 최종 선정된 변인들을 대상으로 단계적 회귀분석을 실시하였다(Table 7).

모형 7번의 설명력은 $R^2=0.856$ 으로 85.6%의 설명력을 갖는 것으로 나타났다. 또한, 각 독립변수의 회귀계수는 0(종속변수와 독립변수는 서로 무관)이라는 귀무가설을 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 전부 기각하고 있으므로 이들 모형에 포함된 독립변수들이 종속변수의 변량을 잘 설명해주고 있음을 나타내고 있다.

다중회귀분석을 통한 각 모형의 세부 변수에 대한 결과는 Table 8과 같다. 회귀 분석 모형에 따른 파급효과 표준화 계수(β)를 통해 도출된 회귀 분석의 수식은 다음과 같다.

$$\hat{y} = 0.326x_1(\text{관대시설}) + 0.294x_2(\text{단독주택}) + 0.243x_3(\text{제2종근린생활시설}) + 0.153x_4(\text{제1종근린생활시설}) + 0.135x_5(\text{가구수}) - 0.71x_6(\text{업무시설}) - 0.67x_7(\text{운동시설})$$

단계선정 방법에 따라 7개의 회귀모델이 설정되고 회귀모델의 적합성과 회귀계수의 유의성을 검증한 결과 모두 유의하게 나타났으며, 이는 잔차 분석을 통해 정규성, 독립성, 공선성, 이상치 등을 진단해야 한다.

Fig. 4는 잔차의 정규분포 히스토그램을 나타내며, 표준편차 0.986으로 나타났다.

Fig. 5는 표준화 잔차의 정규 P-P 도표를 나타낸 것이며 잔차들이 어느 정도 정규성을 이루고 있는 것으로 나타났다.

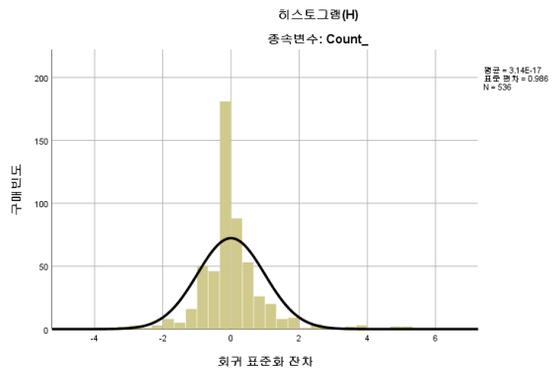


Fig. 4. Normal distribution histogram of residuals

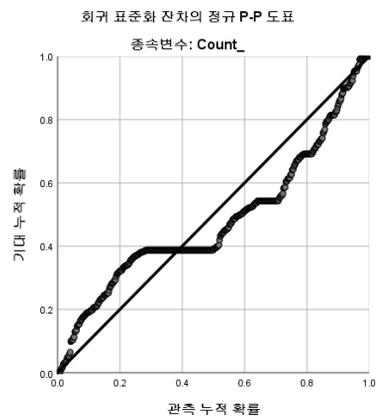


Fig. 5. Normal P-P chart of standardization residuals

종속변수의 예측값에 대해 표준편차 플로팅을 활용하여 잔차의 등분산성을 진단할 수 있다. Fig.6의 경우 등분산성을 충

Table 8. Human-Social-Physical variable regression analysis model summary

Model		Non-standardization factor		Standardization factor	t	Standardization factor
		B	Standard error	Beta		
1	(constant)	-.251	.028		-12.753	.000
	to_ga_001	.185	.004	.656	29.142	.000
2	(constant)	-.213	.051		-9.412	.000
	to_ga_001	.165	.012	.449	28.553	.000
	_sales	.234	.009	.408	19.245	.000
3	(constant)	-.202	.025		-7.886	.000
	to_ga_001	.162	.005	.467	28.654	.000
	_sales	.235	.028	.354	18.756	.000
	_house	-.031	.011	-.065	-3.524	.003
4	(constant)	-.165	.030		-7.771	.000
	to_ga_001	.163	.008	.453	28.546	.000
	_sales	.222	.028	.351	18.468	.000
	_house	-.042	.011	-.053	-4.365	.002
	_neig_1	.331	.009	.321	18.365	.000
5	(constant)	-.163	.029		-6.245	.000
	to_ga_001	.164	.007	.423	27.545	.000
	_sales	.231	.029	.213	17.514	.000
	_house	-.043	.011	-.054	-3.547	.003
	_neig_1	.137	.009	.264	3.486	.000
	_neig_2	.238	.016	.432	14.125	.000
6	(constant)	-.153	.030		-6.956	.000
	to_ga_001	.119	.008	.423	26.254	.000
	_sales	.297	.027	.235	17.234	.000
	_house	-.062	.011	-.046	-4.246	.001
	_neig_1	.142	.009	.246	20.654	.000
	_neig_2	.253	.016	.324	16.246	.000
	_exercise	-.072	.013	-.82	-4.652	.002
7	(constant)	-.203	.029		-3.456	.000
	to_ga_001	.135	.008	.462	25.465	.000
	_sales	.294	.028	.268	17.236	.000
	_house	-.071	.011	-.042	-3.954	.002
	_neig_1	.153	.009	.235	14.268	.000
	_neig_2	.243	.016	.347	12.998	.000
	_exercise	-.067	.012	-.076	-2.246	.001
	_sales_all	.326	.029	.426	2.156	.000

분히 만족시키지 못하고 있으며, 이분산성을 띄고 있다. 따라서, 공간회귀분석을 통한 추가적 분석이 필요하다고 판단된다.

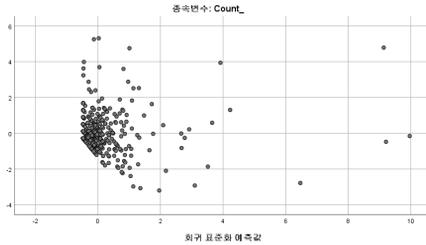


Fig. 6. Scatter plot of residuals and forecasts

3.4 화재 발생에 따른 OLS 분석 결과

앞서 분석한 상관관계 분석과 다중회귀분석의 경우 공간적 개념이 아닌 단순히 통계적인 개념에서의 분석만 가능하다. 따라서, 본 연구에서는 화재 발생 위치와 각 시설물의 공간적 위치를 고려하기 위해 공간가중치를 활용한 회귀 분석을 실시하였다. 다중회귀분석의 결과를 기준으로 최종 선정되어진 변수를 통해 이분산성 진단과 공간회귀모형의 적합도를 확

인하였다. Table 9은 각 변수들을 OLS모델에 적용하여 분석한 결과이다. 다중공선성의 상태지수는 5.804로 나타났으며 상태지수가 30 이하인 경우 심각한 다중공선성이 없다고 판단된다. 또한, 정규성을 판단하는 Jarque-Bera값은 유의확률에서 오차항이 정규분포하지 않음을 확인하였다. 이분산성을 검정하는 Breusch-pagan검정, Kosenker-Bassett검정, White검정 세가지 검정 모두 유의수준 0.01로 나타났다. 각 모형들의 결과 값을 분석한 결과 제 2종 근린생활시설이 화재 발생과 가장 높은 상관성을 보였으며 다음으로 단독주택, 판매시설, 제 1종 근린생활시설, 가구수의 순으로 상관성이 있는 것으로 분석된다.

또한, 공간적 자기상관 진단부분으로 LM-lag, Robust LM-lag, LM-error, Robust LM-error, LM-SARMA 검증을 실시하였다. 공간시차모델과 공간오차모델의 Lagrange Multiplier (lag)통계량이 유의하게 나오면 로버스트 Robust LM (lag)와 Robust LM (error) 중 더 유의한 쪽으로의 공간회귀모형을 선택하게 되며 LM-SARMA 검증은 두 모형의 통계량을 합한 것으로 공간시차모델과 공간오차모델을 동시에 사용했을 때 유의한지를 판단하는 통계량이다. 따라서, Lagrange Multiplier

Table 9. OLS analysis result

Division	Variable name	OLS		
		Coef.	t	P
Human-Social variable	Number of households	0.0334	4.8195	0.016
	Sales facility	0.0935	6.2825	0.049
	Detached house	0.3465	2.4281	0.001
Physical variable	The first type neighborhood facility	0.0725	5.0560	0.000
	The second type neighborhood facility	0.5923	2.5261	0.000
Model statistics	R2	0.768	-	-
	Adj R2	0.753	-	-
Regularity	Condition Number	5.804		
	Jarque-Bera	523.57	-	0.000
Evenly dispersed	Breusch-pagan	497.67	-	0.000
	Kosenker-Bassett	115.93	-	0.000
	White	217.86	-	0.000
Spatial dependency	Likelihood ratio	-	-	-
Suitability of model	Log likelihood	-1255.2	-	-
	AIC	2540.4	-	-
	SC	2604.66	-	-
	Lagrange Multiplier (lag)	4.563	-	0.012
Robust LM (lag)	6.145	-	0.136	
Lagrange Multiplier (error)	7.454	-	0.001	
Robust LM (error)	8.695	-	0.000	
LM-SARMA	14.841		0.000	

(lag)와 Lagrange Multiplier (error)는 모두 유의하게 나타났으며 Robust LM (lag)와 Robust LM (error)의 유의수준을 판단한 결과 공간시차모형보다는 공간오차모형이 통계적으로 유의수준에 포함되어 적합한 모형으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 도시민들에게 위협이 되는 화재 발생이 공간적으로 어떤 요인들과 영향이 있는지 분석하였다. 화재 발생에 대한 영향요인 분석을 위해 진주시를 대상으로 2007년부터 2017년까지 10년간 화재데이터를 취득하였으며, 공간 자기 상관성 분석을 통해 진주시 화재 발생의 공간분포 패턴을 파악한 후, 인문·사회 요인 및 물리적 요인 관점에서 상관관계 및 다중 회귀 분석을 통해 공간적 종속성 및 비정상성을 확인하였다. 이를 토대로 화재 발생 위치와 각 요인별 위치를 고려하여 공간가중치를 활용한 OLS 회귀 분석을 실시하였다.

첫째, 진주시의 화재발생지점을 대상으로 공간 분포패턴을 LISA분석한 결과 HH지역은 33개, LH지역은 22개, HL지역은 3개 LL지역은 14개로 분석되었다. 이러한 결과를 토대로 용도지역별 화재 발생 빈도를 분석한 결과 주변지역과 해당 지역 모두 화재 발생 빈도가 높은 용도지역은 중심상업지역, 공업지역, 주거지역 순으로 나타났다.

둘째, 인구·사회적 변수 및 물리적 변수를 통합하여 다중회귀분석의 최종 모형으로 도출된 요인들을 중심으로 공간가중치를 적용한 OLS회귀모형을 분석하였다. 먼저 모형의 유의성을 검증한 결과 다중공선성의 상태지수는 5.804로 나타났으며 상태지수가 30 이하인 경우 다중공선성이 없다고 판단되었고 이분산성 검정을 위해 Breusch-pagan검정, Kosenker-Bassett검정, White검정을 실시한 결과 모두 유의수준 0.01로 매우 유의한 것으로 나타났다. 따라서 공간가중치를 적용한 OLS회귀모형을 분석한 결과 제2종 근린생활시설이 화재 발생과 가장 높은 상관성을 보였으며 다음으로 단독주택, 판매시설, 제1종 근린생활시설, 가구 수의 순으로 상관성이 있는 것으로 분석되었다.

따라서 본 연구를 통해 얻은 시설물별 화재 발생 빈도의 상관성은 도시지역의 화재 발생 요인을 파악하고 관리하는데 유용한 자료로 활용될 것으로 판단된다.

References

- Bae, G.H. (2016), *Spatial Distribution Analysis and Risk Evaluation of Fire Occurrence in Jinju-si*, Gyeongsang National University, Jinju, Korea, 62p.
- Baller, R.D., Anselin L., Messener S.F., Deane, G., and Hawkins, D.F. (2001), Strutural Covariates of U.S County Homicide Rates : Incorporating Spatial Effects, *Criminologh*, Vol. 39, No. 3, pp. 561-588.
- Jeo, A.L. (2017), *A Study on Factors Affecting Women's Space Utilization Through Floating Population Analysis*, Master's thesis, Gachon University, Gachon, Korea, 95p.
- James, P., Lesage, R., and Kelley, P. (2008), Spatial Econometric Modeling of Origi-Destination Flows, *Journal of Regional Science*, Vol. 48, No. 5, pp. 941-967.
- Kim, H.J. (2009), *A Study on Spatial Characteristics in Fire Outbreak Using GIS*, Master' s thesis, Korea National University of Education, Chongju, Korea, 90p.
- Kim, M.I., Kwak, H.B., Lee, W.K., Won, M.S., and Koo, K.S. (2011), Study on Regional Spatial Autocorrelation of Forest Fire Occurrence in Korea, *The Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 19, No. 2, pp. 29-37. (in Korean with English abstract)
- Kang, Y.O. and Park, M.R. (2005), Guidelines for the Construction of Vulnerability Map of Fire in Seoul, *Conference of Korean Society for Geospatial Information System*, Korean Society for Geospatial Information System, 14 October, Seoul, Korea, pp. 195-200.
- Kim, J.T. and Um, J.S. (2007), The Urban Fire Prediction Mapping Technique based on GIS Spatial Statistics, *Fire Science and Engineering*, Vol. 21, No. 2, pp. 14-25. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.Y. (2010), *A Study on Spatial Distribution in Fire, Emergency, Rescue Outbreaks Using GIS and Dispatch System Analysis*, Master' s thesis, Korea National University of Education, Chongju, Korea, 109p.
- Lee, H.Y. and No, S.C. (2013), *Advanced Statistical Analysis*, Munu, Korea.
- Shin, J.D., Jeong, S.H., Kim, M.S., and Kim, H.J. (2012), Analysis of Fire Risk with Building Use Type Using Statistical Data, *Korean Seociety of Hazard Mitigation*, Vol. 12, No. 4, pp. 107-114. (in Korean with English abstract)
- Yeon, G.H. (2016), *The Analysis about Distributive Characteristics and Influential factors of Urban Fires -Focusing on Cheongju city-*, Master's thesis, Chungbuk National University, Chungbuk, Korea, 134p.